基于BIM技术的综合管廊设计施工一体化协同机制研究

陈云钢[1]　丁吉祥[2]

（1.安徽工业大学，马鞍山 243000 安徽；马鞍山 243000，E-mail：maseyg@163.com.

（1. 2.安徽工业大学，安徽 马鞍山 243000）

【摘要】为提高城市地下综合管廊建设进程中设计施工一体化效率，从信息流转、专业协同、流程管理三个方面分析了综合管廊在传统模式下导致设计施工一体化协同性不足的原因，基于BIM技术对管廊的设计施工全过程进行优化处理，尝试建立了基于BIM技术的综合管廊设计协同机制、施工协同机制、设计施工一体化衔接机制的三种优化模式。通过案例分析验证该设计施工一体化协同机制的可行性，实践证明优化模式对于实现设计施工各阶段的深度融合具有一定的借鉴和参考意义。

【关键词】综合管廊；BIM技术；设计施工一体化；协同机制研究

【中图分类号】TU28；TU71　　【文献标识码】A

基金项目：安徽工业大学2017年研究生创新研究基金项目（编号：2017048）

作者简介：陈云钢（1975-），男，博士，副教授，硕士生导师，主要研究方向：土木建造与管理。

引言

城市地下综合管廊对于改变城市“空中蜘蛛网”和“马路式拉链”等城市病，提高城市科学化和集约化程度具有非常明显的作用[1]。随着我国宏观政策和财政资金投入的大力支持，城市地下综合管廊得到了长足的发展，但是由于我国建筑行业长期处在传统的建设模式当中，对于先进技术的应用和落后管理模式的改变动力不足，设计和施工两个参建单位相互割裂造成相互之间信息难以有效协同[2-3]。因此，基于BIM技术在建筑工程领域中具有高度集成、深化协同等特点，将BIM技术应用于城市地下综合管廊设计和施工阶段，以提高设计、施工、设计-施工过程的协同性，进而提高管廊工程建设效率具有现实意义[4]。

1 综合管廊设计施工一体化协同性研究

1.1 综合管廊设计各专业协同问题分析

作者简介：陈云钢（1975-），男，副教授，博士，硕士生导师，研究方向：土木建造与管理，E-mail：maseyg@163.com.

项目基金：安徽工业大学2017年研究生创新研究基金项目（2017048）.

综合管廊又称市政管沟，是指将城市的电力、给水、排水、通讯、燃气、热力等市政管线纳入地下建造的共同空间当中，形成科学化、规范化、集约化的城市地下基础设施[5]。由于综合管廊建设体量大、构造形状独特、涉及专业众多、建设周期长、技术难度高等特点，决定了综合管廊的建设过程必然伴随着曲折和坎坷，其中问题集中爆发在设计和施工阶段。因此，着重分析研究综合管廊设计施工过程中存在的信息流通和专业协同等问题具有一定的现实意义。

综合管廊的设计内容主要包括标准段断面选型、横断面尺寸设计、入廊管线类型和尺寸的选取、以及管廊交叉节点处的管线设计[6]。可将以上设计内容归纳为：综合管廊廊体设计和管线入廊设计两部分，依照专业的不同将综合管廊分为建筑专业、结构专业、MEP（机电设备）三个专业设计类别。

在对综合管廊传统设计流程研究分析的基础上，笔者将管廊工程的设计过程的三大阶段（方案设计阶段、初步设计阶段、施工图设计阶段）进行详细拆分，如图1所示，为综合管廊传统设计流程，包含了从方案设计到施工图出图存档全过程，过程中建筑、

结构、MEP 各专业需要在方案设计选型、初步设计专业汇总、施工图审核三个阶段节点进行汇总检验，合格后方可进入下一阶段。

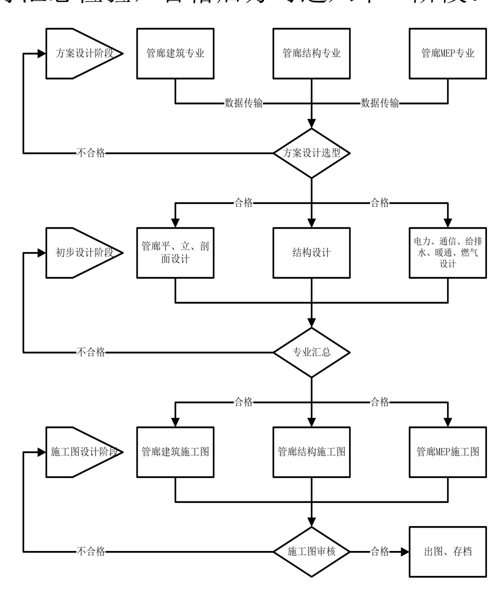


图 1 综合管廊传统设计流程

在这种传统设计模式下，综合管廊建筑、结构、MEP 各设计专业割裂严重，呈现出单一的线性设计流程和信息传递路径，横向之间没有相互联系。只有在完成阶段内各自设计任务后才进行专业汇总：在方案设计阶段的方案选型中，管廊设计专业需要 MEP 专业提供入廊管线的信息数据对标准断面尺寸和分舱方式进行调整，节点设计不仅需要建立在标准段设计的基础之上，同时还需要入廊管线的数据参与，对于出现的设计冲突，建筑设计和 MEP 设计都需要反复修改；管廊初步设计过程是方案设计的进一步细化过程，该阶段管廊建筑专业和 MEP 专业需要在设计节点上就设计成果进行阶段性专业汇总，发现设计冲突等问题后需要进行设计返工，直至完成初步设计目标；施工图设计阶段是设计单位的最终设计任务，该阶段各专业各自的设计图纸设计完成由专门的审核部门对施工图进行审核，因此需要对管廊全部的设计结果进行全面的检验调整，以达到出图效果，对于不符合条件的地方将信息反馈给相应的专业进行修改。因此，总结可得出管廊工程的传统设计模式中存在的问题如下：

（1）信息流转~~方面~~

~~：~~管廊工程各个设计专业之间仅在阶段性的设计节点上存在信息提取，各专业间的横向数据传输基本没有，且信息资料大都以平面 CAD 图纸和文本资料为主，信息的承担载体不能全面反映设计数据状态，从而导致信息传递丢失；~~。~~

（2）专业协同~~方面~~

~~：~~综合管廊各设计专业之间的设计任务分工明确，设计模式程序化和阶段性僵化，彼此之间缺乏关联性，致使建筑、结构、MEP 专业间割裂现象严重，各专业的协同工作需要通过专业汇总进行，不仅费时而且费工；~~。~~

（3）~~（3）~~设计流程管理~~方面~~

~~：~~由于不同设计专业在不同设计阶段的割裂较为严重，而各阶段设计专业间的汇总检验由设计管理者完成，管理者往往根据以往经验从设计阶段的节点提取各个专业设计进度加以分析处理，再加上设计管理者需要多次大量的提取信息数据，难以保证信息共享的实时性，具有一定的信息延迟性，很大程度上限制了协同工作的开展，从而造成多次返工进而影响整体的设计进度。

1.2 综合管廊施工各参建单位协同性问题分析

综合管廊施工信息是指在管廊的整个施工过程产生的所有信息数据，信息流转是指各参建单位为克服施工信息不对称问题产生的彼此信息联系沟通的渠道。管廊的施工包括了施工前准备阶段（设计现场交底）、施工的实施阶段（质量管理、进度管理、安全管理）、竣工验收阶段（参建各方验收），涉及建设方、设计方、监理方、施工方等多个参建单位和大量的施工信息。笔者基于以上施工包含的相关信息，建立如图 2 所示的综合管廊工程的传统施工流程图。

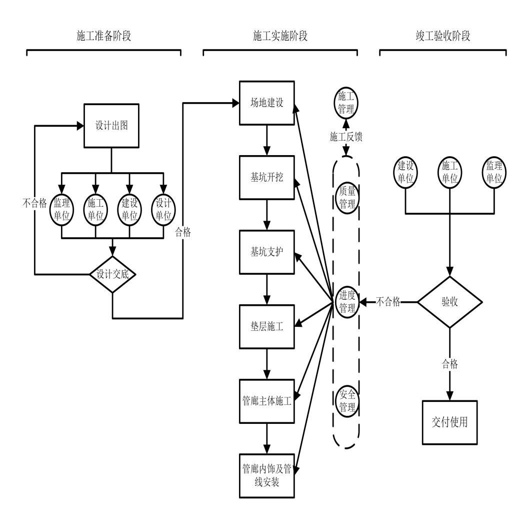


图 2 综合管廊工程的传统施工流程

由上图 2 可以看出，在传统的施工模式中，施工过程依旧是阶段性的展开，各个阶段是以一种近似于线性的方式进行信息传递。设计交底需要由设计单位主导联合建设单位和施工单位，通过二维 CAD 图纸，在短时间内对管廊工程设计成果进行评价分析和制定施工方案；进入到施工实施阶段，现场管理部门需要统筹协调施工各个工种的进出场问题，控制好施工现场的质量、进度、安全问题，及时协调建筑材料的供给问题。分析综合管廊传统施工模式，总结出以下三个方面的不足：

（1）施工信息载体方面：管廊工程的施工全过程都是通过二维 CAD 图纸进行信息交流，给建设单位和施工单位带来了一定的困难，导致一些设计问题很难被发现，增加了实施阶段的施工隐患。

（2）施工阶段的传递方面：在传统的施工模式当中，施工准备阶段、实施阶段、竣工验收阶段三者之间呈线性传递，没有信息的逆流途径，这导致设计交底遗漏的问题会传递到施工阶段，造成问题发现滞后、反馈处理滞后的现象。

（3）参建单位协同方面：从图 2 中可以看出，管廊施工实施过程中，设计单位、监理单位、建设单位参与性不足，彼此之间也未建立有效的信息沟通渠道，且施工单位内部的各个工种之间也是机械的串联在一起，缺乏彼此间的协同工作。

1.3 综合管廊设计单位与施工单位衔接问题分析

传统的建设项目因专业的分工导致了设计施工的长期分离，整个项目的设计工作由设计单位单独完成，导致了设计施工组织结构的解体，降低了设计施工之间的融合[7-8]。综合管廊设计施工衔接即是将综合管廊由设计概念转化为建筑实体的一个过程。笔者基于设计和施工两个阶段的工作内容，将两者所联系的部分，绘制成如图 3 所示的管廊工程施工阶段和设计阶段衔接示意图，发现施工图设计交付是两者衔接过程唯一的信息载体，且以二维平面 CAD 图纸作为信息媒介，设计信息从设计方单向流入施工方。

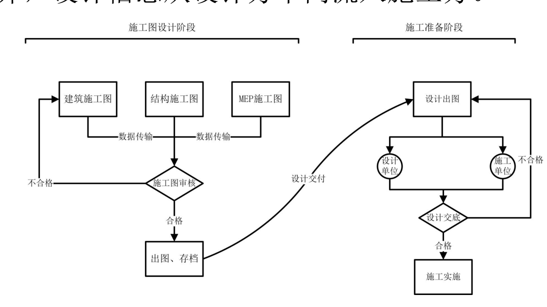


图 3 管廊工程施工阶段和设计阶段衔接示意图

可以看出这种以设计单位牵头的设计施工模式，设计信息只在设计→施工过程中单向流动，导致设计阶段出现设计缺陷会堆积到施工过程。这种设计缺陷引起的施工不仅影响建设进程，还无形中增加了管廊工程的建设成本。因此总结传统的设计施工衔接过程存在以下不足：

（1）设计成果的可施工性：由于在这种设计到施工单向传递的信息流转中，设计人员缺乏足够的工程实际经验，导致设计的可施工性降低，而这些问题只有在施工单位或者在施工过程中才能被发现，存在非常大的时间延误性。

（2）设计施工的分离性：设计施工两个单位仅仅依靠平面二维施工图纸进行信息传递，不能有效的将设计信息完完全全传递给施工单位，两者之间相对割裂。

（3）施工单位相对滞后性：由于施工图纸的设计全部由设计单位负责，在图纸设计完成后才递交给施工单位，施工方需要重头开始理解设计意图，不仅浪费了时间而且也可能导致上述（1）（2）问题的出现。

2 基于BIM技术的管廊设计施工一体化优化模式研究

2.1 基于BIM技术的设计协同性优化模式

工程建筑的协同设计是指设计单位内部各个设计专业以及相关的设计管理人员放在同一设计平台（中心文件）进行建筑工程的设计工作，以信息数据的实时共享为途径，以设计高效为目标的一项多专业协作性的工作模式，旨在解决设计各专业关联性不足所带来设计冲突等问题[9]。针对 1.1 节中提到的设计协同等问题，笔者基于 BIM 技术对上述问题加以优化，通过综合管廊的 BIM 中心文件同步各专业的设计进度信息，各专业间也可以通过中心文件来调取所需参照数据。打破原有的阶段性设计模式和僵化的节点处各专业汇总现状，建立如图 4 所示的基于 BIM 技术的综合管廊协同设计模式。

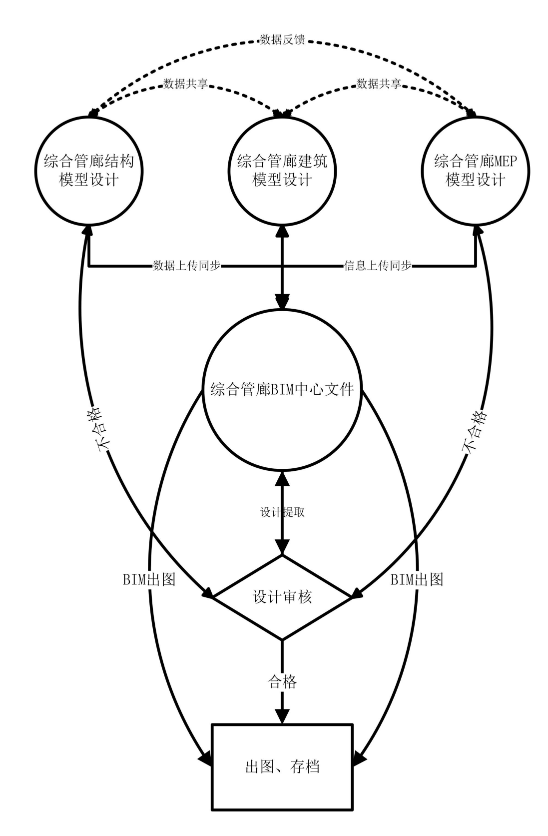


图 4 基于 BIM 技术的综合管廊协同设计模式

如图 4 所示，基于 BIM 技术的综合管廊设计同设计模式中，管廊设计的三大专业（建筑、结构、MEP）通过同步和共享的方式，建立与综合管廊 BIM 中心文件的数据双向传递通道，专业间也相互链接形成专业间的工作协同机制，设计管理部门通过调取综合管廊 BIM 中心文件审核设计成果。随着设计进度的推进，管廊 BIM 模型也逐渐完善，经设计审核部门检验合格发出 BIM 出图命令。至此，BIM 技术的综合管廊设计任务全部完成。

基于 BIM 技术的综合管廊协同设计工作模式相较于传统设计模式，各专业基本上是同步开始的，管廊结构专业和 MEP 专业切入的时间相对于管廊的建筑专业有所前移，管廊设计的三大专业通过中心文件和相互链接机制，实现了设计信息的横向流动，设计管理部门通过直接检验 BIM 中心文件的方式保证设计信息纵向间的传递。这种横向加纵向的信息流通模式不仅减少了设计环节，降低信息传递次数，而且使得专业间的协同工作贯穿于设计全过程，设计缺陷和设计漏洞可随时检验，做到了问题的及时发现、及时反馈和及时处理，很大程度上提高了设计的协同效率。

2.2 基于BIM技术的管廊施工协同性优化模式

协调施工是指在建设项目施工的全过程，由施工管理部门对施工过程中的信息和数据进行实时的采集和处理，并在此基础上实现与项目各参建单位、施工各个工种之间的信息互通渠道，打破“信息孤岛”现象以提高施工管理协同效率[10]。综合管廊工程的施工阶段是整个建设寿命周期中持续时间最长、涉及工序最多、参与人员最多的阶段，施工阶段的好坏直接关系到管廊工程的建设效率、进度、成本和质量问题[11-12]。笔者针对 1.2 节提出的传统施工存在的问题，基于 BIM 技术将综合管廊的各参建单位通过 BIM 建筑信息模型联系起来，建立如图 5 所示的以 BIM 模型为核心的管廊施工各专业之间的信息流转路径和协同工作模式。

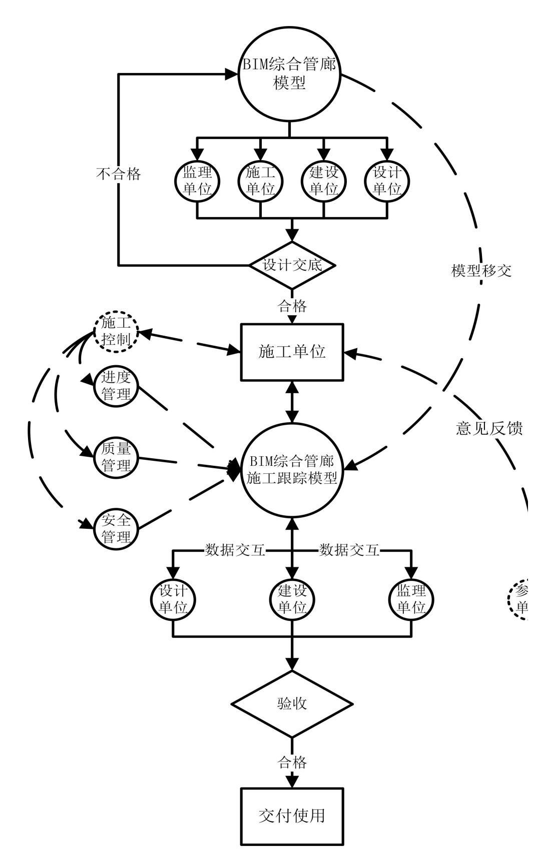


图 5 基于 BIM 技术综合管廊施工协同工作模式

如图 5 所示，在基于BIM技术的管廊施工协同性优化模式中，首先由设计单位将设计完成的综合管廊的BIM模型交付给施工单位，并就该模型组织各参建单位进行设计交底，将设计存在的问题反馈到BIM管廊模型中，修改完善后由施工方在管廊BIM模型的基础上，建立BIM综合管廊的施工跟踪模型，用于实时监督管理管廊的实施过程，设计、监理、建设等单位可以通过该模型了解施工相关情况，在最后的竣工验收阶段，该模型又可以作为验收的数据模型进行辅助参考。

BIM 技术应用于综合管廊的施工阶段与传统施工模式相比，BIM 模型贯穿于施工的设计交底、施工实施、竣工验收全过程，整个综合管廊施工过程各参建单位的参与方式都是以 BIM 信息模型为依据进行深度的信息交流和协同工作。弱化和模糊了施工的阶段性，通过综合管廊的 BIM 模型实现设计交付、施工实施、竣工验收三者的有机结合。在管廊的施工建设管理过程中，施工管理人员可以利用 BIM 技术实时跟踪施工的进度情况，对于可能发生的参建单位协同状况进行预测和提前部署。利用 BIM 技术的信息共享性，将建设单位、设计单位、施工单位的内部各个分工有效联系起来，从而使管廊工程各参建单位更好地了解项目，以达到协同工作、信息共享目的，更好地为项目的实施提供技术和信息支持。

2.3 BIM技术深化设计施工一体化优化模式

鉴于传统的设计施工分离现状导致的一系列问题，笔者将 BIM 技术引入到设计-施工的衔接过程中，利用 BIM 综合管廊的信息模型作为设计施工的衔接桥梁，建立如图 6 所示的基于 BIM 技术的管廊设计-施工衔接模式。与传统的设计-施工衔接相比，BIM 的管廊信息模型加强了施工与设计的信息的双向传递，施工单位通过管廊 BIM 模型与设计单位实现信息的互通，借助于 BIM 模型的三维视图，施工单位更能清楚认识到设计单位的设计理念，实现无缝对接。

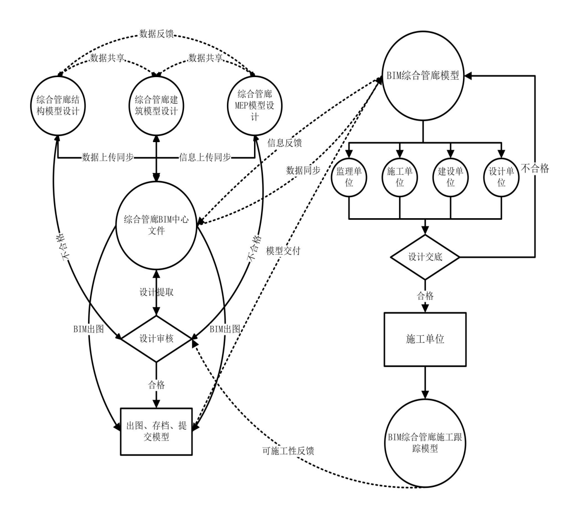


图 6 基于 BIM 技术的管廊设计-施工衔接模式

如图 6 所示，在基于 BIM 技术的综合管廊设计-施工衔接模式中，设计单位将该阶段的设计成果交付给施工阶段，形成 BIM 综合管廊模型。施工阶段通过该模型与设计单位建立信息和问题反馈机制，各参建单位将设计模型进行设计交底的审核，对不符合要求的内容通过该模型反馈给设计管理部门，实现与设计阶段的 BIM 中心文件的数据同步和信息共享。在施工实施过程中，施工单位可根据管廊施工跟踪模型将设计的施工性问题反映到设计单位。

基于 BIM 技术的设计-施工衔接模式，是通过设计单位的综合管廊 BIM 中心文件为媒介实现的，实现了从设计到施工的无缝

衔接。管廊设计阶段的成果不再单向不可逆地流向施工阶段，而是通过管廊的 BIM 模型实现了设计和施工的深度融合，模糊了设计阶段到施工阶段的界限，使得施工等参建单位提前介入设计阶段，不仅加快了施工等参建部门对设计理念的认识，而且提高了设计的可施工性。

3 案例分析

位于马鞍山市博望区的综合管廊工程，是为了配合博望新区的建设，提高博望综合实力规划的区域性的管廊工程，该项目包括辽河路、海河路等路段共计管廊里程 24 ~~公里~~KM，总投资约 20 亿元。超长的管廊布局、海量的工程信息、众多的参建单位是该管廊项目相较于其他建筑工程的独特之处。采用 EPC 总承包模式，有利于在制度上保障设计施工一体化的实现。全程应用 BIM 技术，有利于设计施工一体化的协同。

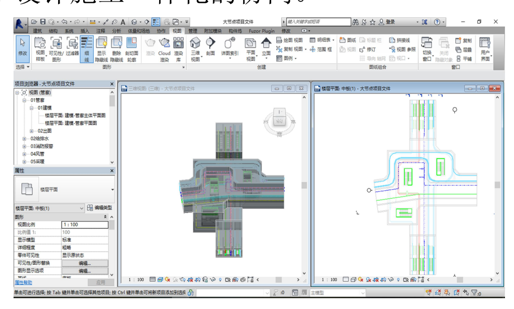


图 7 综合管廊节点 BIM 中心文件

在项目实施过程中，设计单位全程应用 BIM 技术建立综合管廊的建筑、结构、MEP 模型。仅在设计初期，各专业内部设计信息以文件链接的形式实现了共享，如平面、立面、剖面可以相互调取信息作为设计过程中的参照和对比。此外，各专业之间通过中心文件提取信息等方式提前发现并自行纠正节点专业碰撞（管线与建筑打架）、建筑设计不合理（舱室转角过小）、管线排布错误（管线避让方式不合理）等问题共计 714 处，使问题在形成初期就得到了很好的解决。随着设计的不断推进，管廊 BIM 中心文件也逐渐完善（如图 7 所示），设计审核部门通过对中心文件的实时监控和最终审核，使得该管廊节点的设计返工次数由之前的 10 余次降低到现在的 1 次，设计周期也由过去的 7 天降低到 3 天，设计成本同样得到了较好的控制。

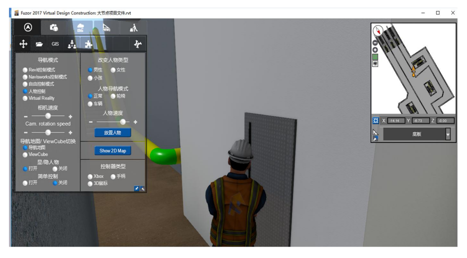


图 8 施工图深化过程中发现的门窗过低问题

由于该项目仍旧采用传统的设计施工相分离的模式（DBB），施工单位未能在 EPC 总承包牵头下借助管廊 BIM 中心文件的形式参与到综合管廊模型的深化设计过程中，同样也未能基于图 6 的设计施工衔接模式为设计方提供可施工性建议。导致施工单位在拿到设计单位提供的管廊模型时，需要就其中的难以施工部分向设计方提出相应诉求。如图 8 所示，是施工单位在深化施工模型阶段中发现管廊节点楼梯间门窗高度过低，暴露出设计阶段的施工性差的问题依旧存在。与此同时，施工单位还要花额外的时间去理解管廊模型的设计意图，这个过程势必会造成设计信息的传递不完全，导致施工计划的错误安排，这与设计单位未能完全介入施工过程也有一定联系。

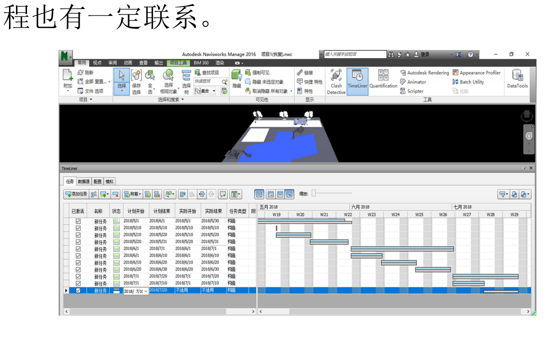


图 9 管廊节点的施工模拟

在管廊的施工阶段，施工单位基于设计单位的管廊模型设计成果，建立了数字化的管廊施工模型，并通过 Navisworks 施工模拟技术对施工作业现场进行了模拟（如图 9 所示），对土方、混凝土、钢筋、模板、吊装、运输、采购等部门的衔接顺序进行了优化，从而制定合理的施工方案和施工工艺。基于数字化施工模型同步跟踪管廊施工的全过程，将采集的施工信息，以数字信息的方式汇总到管廊施工模型当中，并通过基于 BIM 技术的综合管廊施工协同工作模式，共享给建设、设计、监理等参建单位，不仅提高了各方的参与度，而且减少了工程变更，

缩短了施工工期，降低了工程造价。

在该管廊项目工程中，由 EPC 项目总承包单位将设计单位的管廊BIM中心文件和施工单位的管廊施工模型整合到一起，尽管未能将三种模型完全融合，但也在一定程度上建立了基于 BIM 技术的设计-施工一体化协同机制的雏形。初步形成了对外汇报沟通、对内高效协同、中间信息汇总的新型格局。实践证明，这三种优化模式及协同机制的应用对于提高管廊建设管理效率、加快信息互通、降低建设成本等具有一定的实际应用价值。

4 结论

为解决综合管廊传统设计施工长期的分离问题，提高设计-施工一体化效率，通过研究综合管廊在传统设计流程和施工管理模式方面存在的问题，将 BIM 技术应用到综合管廊设计施工一体化过程中，建立了基于 BIM 技术的综合管廊设计施工一体化优化模式。

（1）建立了设计协同优化模式，可以改变传统设计流程的僵化局面，实现管廊建筑、结构、MEP 专业的信息共享和工作协同；

（2）建立了施工协同优化模式，可以模糊施工阶段性的边界，有利于施工不同阶段的融合，提高参建单位的工作协同程度；

（3）建立了设计-施工衔接模式，可以打破设计施工分离现状，将施工阶段的切入时间提前到设计阶段，增加设计施工相互参与度，提高设计的可施工性，降低施工的返工失误率；

（4）设计施工一体化协同机制整合方面，将基于 BIM 技术的综合管廊协同设计、协同施工、设计-施工衔接三种优化模式，应用于实际工程案例。实践证明，上述优化模式及协同机制具有一定的可操作性，对于管廊工程的建设具有一定的借鉴和参考意义。

参考文献

[1]周泓,姜青新.关于《关于推进城市地下综合管廊建设的指导意见》的初步解读[J].环境与可持续发展，2015，(05):58-59.

[2]白海龙.城市综合管廊发展趋势研究[J].中国市政工程，2015（06）：78-81.

[3]周文连.以设计施工一体化促进建筑业持续健康发展[J].中国勘察设计，2017（04）：46-51.

[4]郑培信.BIM 技术在设计施工一体化中的应用[J].公路与汽车，2016（01）：234-237.

[5]杨党峰，刘晓东，苏峰等.城市地下综合管廊智慧运维管理研究与应用[J].土木建筑工程信息技术，2017（06）：28-33.

[6]白庶，蔡梦娜等.BIM 技术在城市地下综合管廊中的应用价值分析[J].工程管理学报，2018(02)：74-78.

[7]陈林，苏振民.工程项目设计与施工整合研究[J].商业经济研究，2007（25）：66-67.

[8]饶平平，梁晓东，徐明等.基于 BIM 的施工信息管理平台的应用[J]. 土木建筑工程信息技术，2017，9（03）：96-102.

[9]陈杰，武电坤，任剑波，李俊，刘兵全.基于 Cloud-BIM 的建设工程协同设计研究[J].工程管理学报，2014，(05):27-31.

[10]满清鹏，李晓东.基于普适计算和 BIM 的协同施工方法研究[J].土木工程学报，2012（s2）：311-315.

[11]李勇，郄恩田，郭阳. BIM 技术在施工阶段四大控制中的应用探讨[J].建材世界，2014(02)：103-107.

[12]周勃，任亚萍.基于 BIM 的工程项目施工过程协同管理模型及其应用[J].施工技术，2017（12）：143-150.

Research on the Collaboration Mechanism of Integrated Collaboration Design and Construction in integrated pipe gallery based on BIM Technology

CHEN Yun-gang[1]，DING Ji-xiang[2]

（1. Anhui University of Technology，Maanshan243000， E-mail：mascyg@163.com.
2. Anhui University of Technology，Maanshan243000）

Abstract: In order to improve the efficiency of design and construction integration of urban underground integrated pipe gallery during its process, three aspects are analyzed including information flow, professional collaboration, and process management, to find out the causes of inadequate of design and construction integration under the traditional mode of integrated pipe gallery. Based on the BIM technology, the whole process of the design and construction of the

pipe gallery is optimized. Three optimization models are attempted to be established such as, integrated pipe gallery design coordination mechanism, construction coordination mechanism, and integrated design and construction mechanism based on BIM technology. A real-life case is presented to verify the feasibility of coordination mechanism of the integrated design and construction. The practice prove that the optimization model has certain reference and referential value for realizing the deep integration of each stage of design and construction.

Keywords: integrated pipe gallery; BIM technology; integration of design and construction; collaboration mechanism research